

柏崎刈羽原子力発電所7号機  
新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る  
点検・評価について  
(第15/16回構造WGでの指摘事項に関する回答)

平成20年7月24日

東京電力株式会社

## コメント

減衰についてはどういう評価をしているのか。剛性比例型で減衰を与えているとすると、高次モードである鉛直動については大きな減衰を与えることになる。鉛直動に対する減衰をどう考えるのかを具体的に示して欲しい。

(平成 20 年 7 月 14 日 耐震・構造設計小委員会 構造 WG(第 16 回))

## 回答

排気筒の減衰評価は、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている。解析では、水平方向（南北方向）1次固有振動数（3.29Hz）に対して減衰定数が  $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を与えている。固有値解析結果を表 - 1 に、剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係を図 - 1 に示す。鉛直動については、固有値解析結果から鉄塔、筒身とも鉛直方向 1 次固有振動数は 24Hz 程度と高振動数（高次モード）であり、減衰は大きくなる。ただし、鉛直動による応答が排気筒の健全性評価結果に与える影響が小さいことから、減衰評価の違いが健全性評価結果に与える影響は殆ど無いと考えられる。このことを次ページ以降の(1)～(3)の検討により確認した。

表 - 1 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	備考
1	3.29	0.304	南北方向 1 次
17	23.79	0.042	鉄塔鉛直 1 次

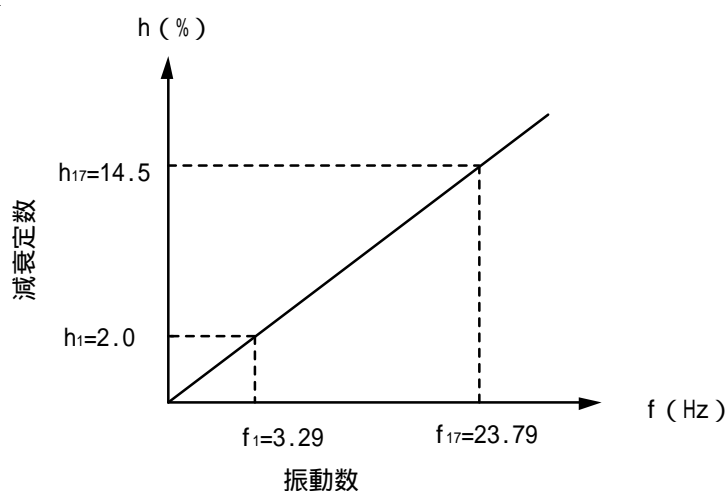


図 - 1 剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係

(1) 鉛直動に対する減衰定数の影響の検討

鉛直動に対する減衰定数の影響を確認するために、剛性比例型減衰を水平方向1次に対して設定した場合（14.5%）と鉛直方向1次に対して設定した場合（2%）の2通りについて、3次元立体モデルに鉛直動を入力した比較検討を実施した。鉛直動による影響が大きい最大応答軸力について比較した結果を図-2に示す。

この結果より、鉛直動の影響が大きい軸力について、鉛直方向1次に対して減衰を設定することによる応答値の増分は、大きい箇所では鉄塔・筒身ともに15%程度となることが分かった。

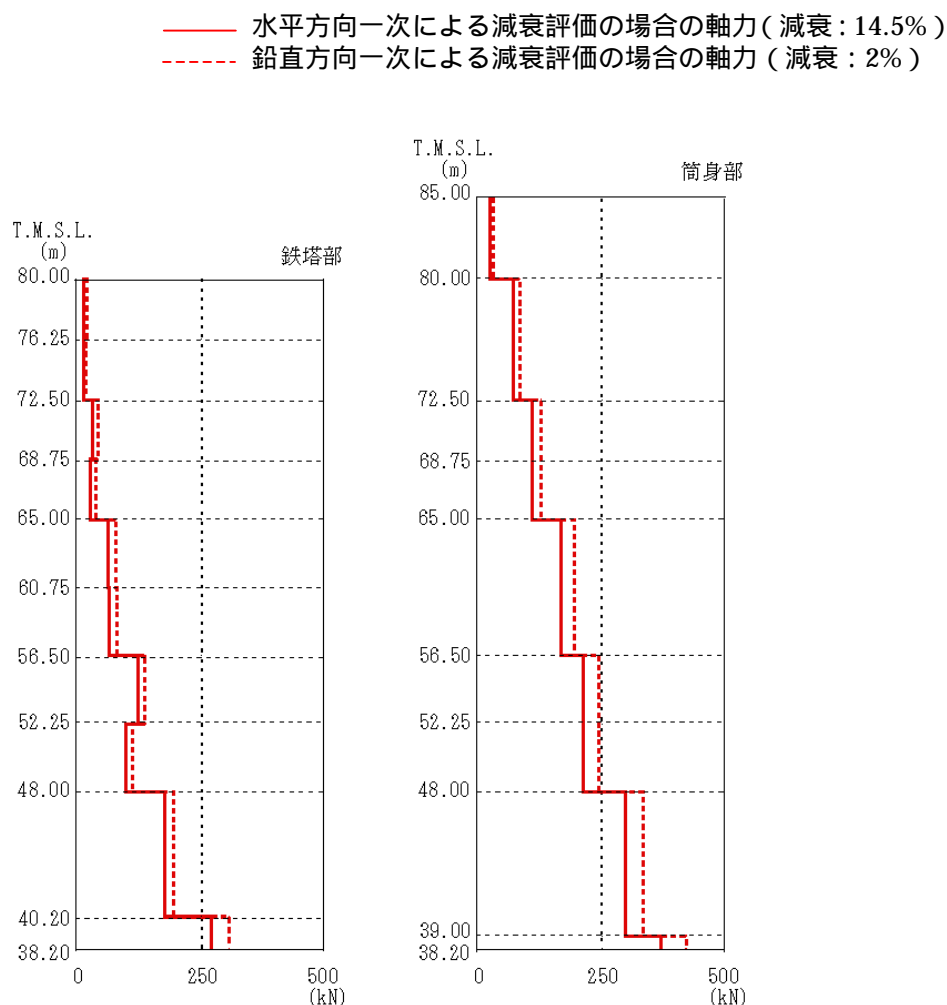


図 - 2 減衰評価の違いによる鉛直動の応答結果（最大応答軸力）  
（減衰について、水平1次と鉛直1次で決めた場合の比較）

(2)鉛直動による応答が全体の応答に占める割合の検討

地震時には水平方向の振動が支配的であることを確認するために、鉛直動による応答が全体応答に占める割合について検討を行った。

図 - 3 にシミュレーション解析時（水平・上下・回転の 5 成分入力による全体応答）と鉛直動のみを入力した場合の最大応答軸力の比較結果を示す。

これより、鉄塔については、全体応答に占める鉛直動の割合が 5%程度と小さく、減衰の違いによる応答結果への影響は小さいことが分かった。また、筒身については、応答に占める鉛直動の割合が 100%となり、(1)での検討結果より減衰を変えた場合の鉄塔部に発生する軸力は 15%程度増加することとなる。

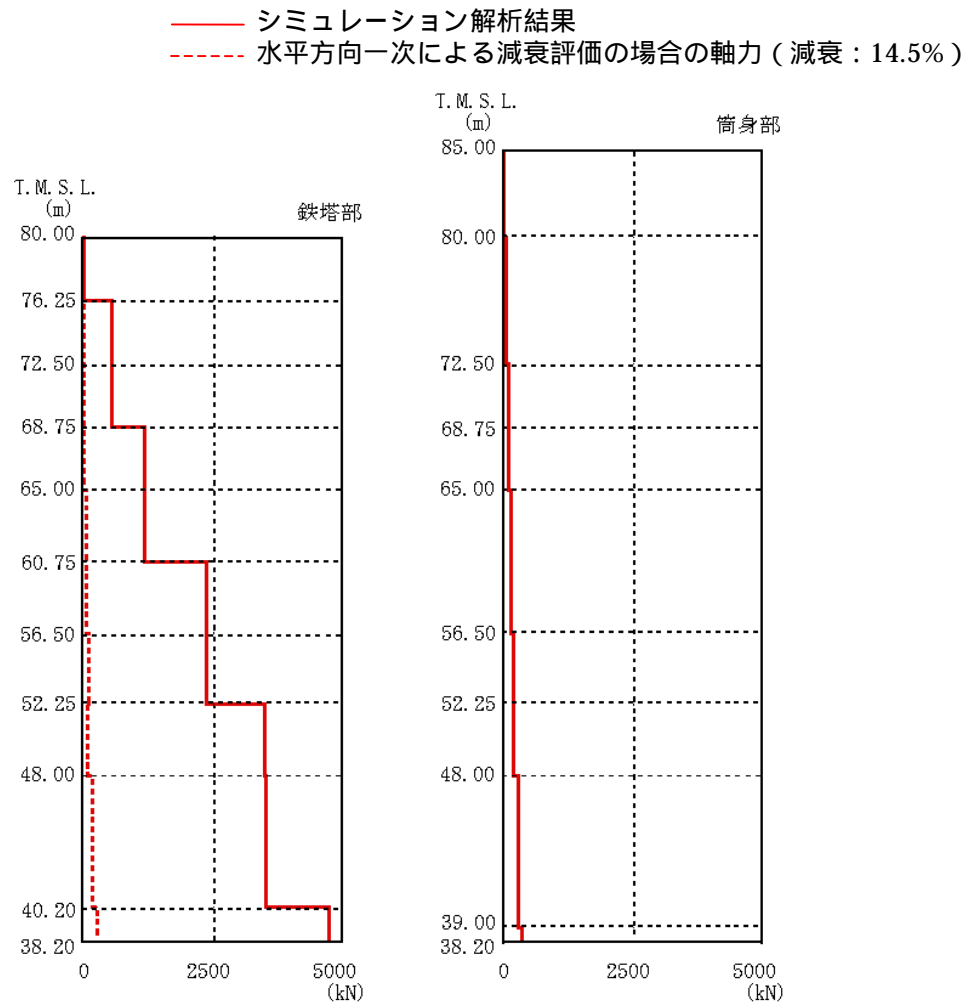


図 - 3 シミュレーション解析時（5 成分入力）と鉛直動のみの最大応答軸力の比較

### (3) 減衰評価の違いが健全性評価結果に与える影響の検討

排気筒の健全性については、地震時に生じる軸力及び曲げモーメントに対して短期許容応力度により断面検定を行うことで評価している。減衰の評価方法を変更した場合の健全性評価結果を表 - 2 に示す。鉛直 1 次で減衰を評価した場合には、筒身の最大応答軸力は 15% 程度増加するが、健全性評価に対しては水平動による曲げ応力度が支配的であるため、評価結果への影響は殆ど無いと言える。また、鉄塔についても減衰評価の違いが健全性評価結果へ与える影響は殆ど無いと言える。

以上より、鉛直動に対する減衰評価の違いが健全性評価結果へ与える影響は小さいと判断できる。

表 - 2 鉛直動に対する減衰評価の違いによる最大応力度比の比較  
水平方向 1 次による減衰評価の場合

箇所	部材	N (kN)	M (kN・m)	A (cm <sup>2</sup> )	Z (cm <sup>3</sup> )	c (N/mm <sup>2</sup> )	b (N/mm <sup>2</sup> )	fc (N/mm <sup>2</sup> )	fb (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{c}{fc} + \frac{b}{fb}$
鉄塔	主柱材	2559	352	298.4	4320	85.8	81.5	314.0	325.0	0.52
筒身	-	437	2258	454	27200	9.6	83.0	185.0	197.0	0.47

鉛直方向 1 次による減衰評価の場合

箇所	部材	N (kN)	M (kN・m)	A (cm <sup>2</sup> )	Z (cm <sup>3</sup> )	c (N/mm <sup>2</sup> )	b (N/mm <sup>2</sup> )	fc (N/mm <sup>2</sup> )	fb (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{c}{fc} + \frac{b}{fb}$
鉄塔	主柱材	2574	354	298.4	4320	86.3	81.9	314.0	325.0	0.53
筒身	-	469	2258	454	27200	10.3	83.0	185.0	197.0	0.48

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)  
M : 曲げモーメント  
A : 断面積  
Z : 断面係数  
fc : 許容圧縮応力度  
fb : 許容曲げ応力度  
c : 圧縮応力度 (N/A)  
b : 曲げ応力度 (M/Z)

## コメント内容

構造 W15-2-1 の図-5.4.5(p5-28)のせん断スケルトン曲線について、耐震壁と補助壁でせん断スケルトン曲線の評価法は同一なのか。直交壁の影響はどのように評価しているのか。

(平成 20 年 6 月 27 日 耐震・構造設計小委員会 構造 WG(第 15 回))

せん断スケルトン曲線についての概念図を示すこと。

(平成 20 年 7 月 14 日 耐震・構造設計小委員会 構造 WG(第 16 回))

## 回答

鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断に関するスケルトン曲線は、JEAG4601-1991 追補版の評価法を基本としている。JEAG4601-1991 追補版におけるせん断に関するスケルトン曲線の終局点の評価法は、BOX 壁、円筒壁、I 型壁の実験結果に基づいている。

タービン建屋の耐震壁は外壁と内壁に分類されるが、外壁については、BOX 壁とみなせるため、JEAG4601-1991 追補版により終局耐力を評価した。

一方、内壁および補助壁については、直交壁が存在しない場合が多いことから、直交壁の効果を見込まない終局耐力を評価した。具体的には、内壁については、「2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」(監修：国土交通省住宅局建築指導課他)の終局強度に関する評価法を適用した。

補助壁については、鉄筋比が小さい場合が多いことを考慮して、JEAG4601-1991 追補版で評価される第 1 折れ点で降伏する、完全弾塑性型のスケルトン曲線とした。なお、全てのスケルトン曲線において、終局点を与えるせん断ひずみについては JEAG4601-1991 追補版の記載による値を採用した。

せん断に関するスケルトン曲線の概念図を図-1 に示す。

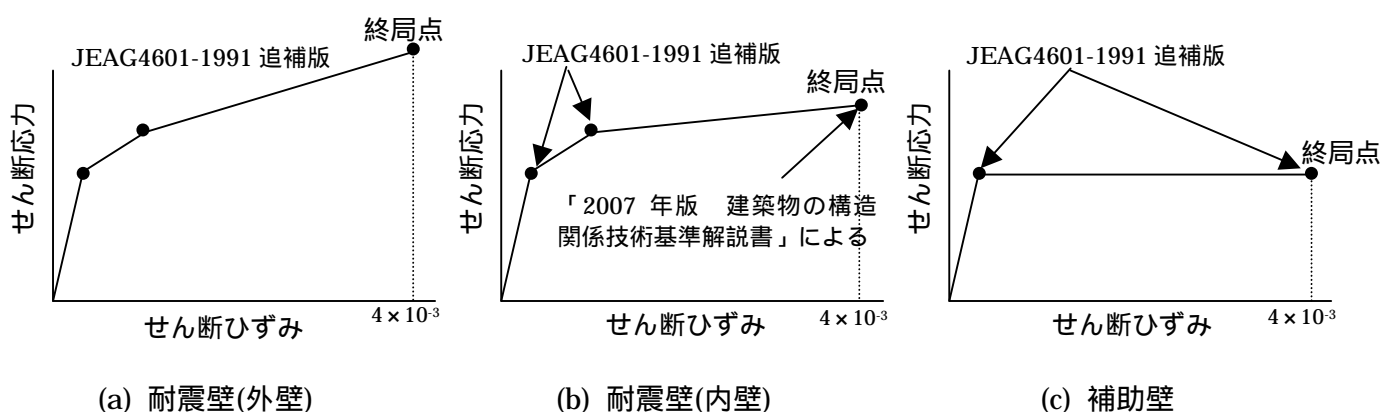
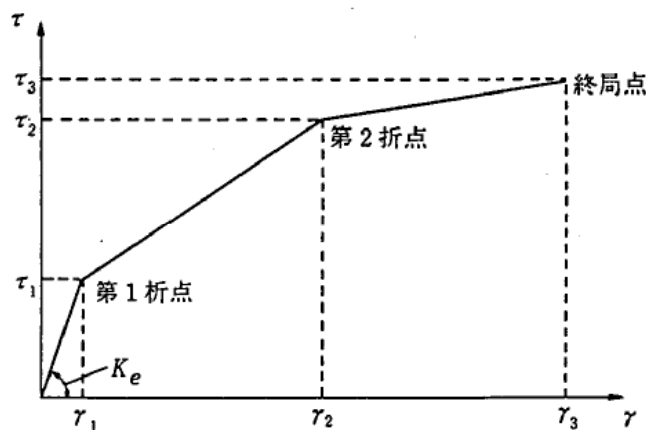


図-1 せん断に関するスケルトン曲線の概念図

「JEAG4601-1991 追補版」によるせん断に関するスケルトンカーブの評価法

タービン建屋の外壁では、「JEAG4601-1991 追補版」に基づき、せん断に関するスケルトンカーブを以下のように評価した。



第1折点 
$$\begin{cases} \tau_1 = \sqrt{\sqrt{Fc}(\sqrt{Fc} + \sigma_v)} \\ \gamma_1 = \tau_1 / G \end{cases}$$

第2折点 
$$\begin{cases} \tau_2 = 1.35\tau_1 \\ \gamma_2 = 3\gamma_1 \end{cases}$$

終局点 
$$\begin{cases} \tau_3 = \begin{cases} \{1 - \tau_s / (4.5\sqrt{Fc})\} \tau_0 + \tau_s & \tau_s \leq 4.5\sqrt{Fc} \\ 4.5\sqrt{Fc} & \tau_s > 4.5\sqrt{Fc} \end{cases} \\ \gamma_3 = 4.0 \times 10^{-3} \end{cases}$$

$$\tau_0 = (3 - 1.8M/QD)\sqrt{Fc}$$

ただし、 $M/QD > 1$ の時  $M/QD = 1$  とする。

$$\tau_s = (P_v + P_H)_s \sigma_y / 2 + (\sigma_v + \sigma_H) / 2$$

ここに

- Fc : コンクリートの圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)
- G : コンクリートのせん断弾性係数(kgf/cm<sup>2</sup>)
- P<sub>v</sub>, P<sub>H</sub> : 縦、横筋比(実数)
- σ<sub>v</sub>, σ<sub>H</sub> : 縦、横軸応力度(kgf/cm<sup>2</sup>) (圧縮を正とする)
- σ<sub>y</sub> : 鉄筋降伏応力度(kgf/cm<sup>2</sup>)
- M/QD : シアスパン比
- D : 引張・圧縮フランジの芯々間距離(cm)

「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」による終局強度の評価法

タービン建屋の内壁では、「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」に準拠し、鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断終局強度は、せん断強度  $Q_{wsu}$  と曲げ強度より算定されるせん断力  $Q_{wmu}$  のいずれか小さい方とした。

$$Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.068 p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh}} + 0.1 \sigma_0 \right\} t_e \cdot j \quad (N)$$

$$Q_{wmu} = Q \cdot \frac{M_{wu}}{M}$$

$$M_{wu} = a_t \cdot \sigma_y \cdot l_w + 0.5 a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot l_w + 0.5 N \cdot l_w \quad (N \cdot mm)$$

#### 記号の説明

- $t_e$  : I形断面を長さと同断面積とが等しい等価長方形断面に置き換えたときの幅(mm)。ただし、 $t_e$ は壁厚  $t$ の1.5倍以下とする。
- $D$  : 耐力壁の全長(mm)
- $j$  :  $7/8 \times d$ (mm)
- $p_{te}$  : 等価引張主筋比(%) (=  $100a_t/b_e \cdot d$ )
- $a_t$  : I形断面の場合は引張側柱内の主筋全断面積、長方形断面の場合は端部の曲げ補強筋の断面積(mm<sup>2</sup>)
- $d$  : I形断面の場合  $D - D_c/2$  ( $D_c$ は圧縮側柱のせい)、長方形断面の場合は  $0.95D$ (mm)
- $p_{wh}$  :  $t_e$ を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比(小数)
- $\sigma_{wh}$  : 水平せん断補強筋の降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_0$  : 全断面積に対する平均軸方向応力度(N/mm<sup>2</sup>)
- $F_c$  : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)
- $M$  : 断面に作用する曲げモーメント(N・mm)
- $Q$  : 断面に作用するせん断力(N)
- $\sigma_y$  : 引張側柱の主筋の降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)
- $a_w$  : 耐力壁の縦筋の断面積で、耐力壁の中間に柱がある場合にはその主筋断面積も含める(mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{wy}$  : 耐力壁の縦筋の降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)
- $N$  : 耐力壁の軸方向力(N)
- $l_w$  : I形断面耐力壁の場合の両側柱中心間距離(mm)。長方形断面の場合は  $0.9D$ とする。